

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 19920101152720

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 CMP 的光学元件亚表面缺陷

分析与实验方法研究

Research on subsurface defect analysis and experimental  
method of optical element based on CMP

陈 梅 云

指导教师姓名: 郭 隐 彪 教 授

专 业 名 称: 机 械 工 程

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 6 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_ 密级\_\_\_\_\_

学号: 19920101152720

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 CMP 的光学元件亚表面缺陷

分析与实验方法研究

**Research on subsurface defect analysis and experimental  
method of optical element based on CMP**

陈 梅 云

指导教师姓名: 郭 隐 彪 教 授

专 业 名 称: 机械工程

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

基于CG的光学元件亚表面缺陷分析与实验方法研究

陈梅云

指导教师

郭隐彪  
教授

厦门大学

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为( )课题(组)的研究成果，获得( )课题(组)经费或实验室的资助，在( )实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月

厦门大学博硕士论文摘要库



## 摘 要

随着强激光领域、光刻领域以及相关光学技术领域的发展,对光学元件的质量要求越来越高,不仅要求其具有很高的表面光滑度,还要求无亚表面损伤(SSD)。国内外学者在元件损伤机理上的大量研究表明,光学元件在加工过程中产生的亚表面损伤会直接影响材料在强激光领域中的使用性能和寿命等重要指标,因此有效地对亚表面损伤进行检测并在加工阶段进行控制就显得尤为重要。本文针对光学元件的特点,择优进行化学机械抛光(CMP),建立各种抛光方法的加工参数、大口径光学元件亚表面缺陷深度及亚表面缺陷降低效率(即加工时间)的关系模型,用于指导加工中高效地降低大口径光学元件亚表面缺陷深度的抛光方法及加工参数选择,实现最大效率的亚表面缺陷去除;并通过分步优化腐蚀实验,检测得出光学元件产生的亚表面缺陷深度(SSD)随刻蚀时间先逐渐变大后变小,缺陷形貌由凸起变为凹进,其中细小划痕易被浅度酸蚀去除,长度较大、较深的划痕即使刻蚀极深也难以去除,但有钝化效应。课题期间进行的工作及主要成果包括:

(1) 基于 Jianfeng Luo 和 David A. Dornfeld 提出的材料去除率公式,提出了修正的材料去除公式,实验表明了修正后的材料去除率(MRR)误差波动范围大幅减小。

(2) 利用光学显微镜和扫描电子显微镜(SEM)观察亚表面缺陷的形貌,使用台阶仪测量蚀刻深度,观测一次腐蚀的亚表面裂纹形状与深度,以及其随着刻蚀时间的变化规律。

(3) 对 K9 样品进行分步优化腐蚀实验,采用显微镜与 LED 强光手电筒结合的方式进行亚表面缺陷检测,并得到 K9 样品的亚表面缺陷深度。

(4) 开展化学机械抛光加工工艺的研究,通过蚀刻速率与时间估算出抛光产生的缺陷深度,证实该工艺对提高元件表面精度,减少亚表面缺陷的积极作用。

**关 键 字:** 化学机械抛光 亚表面缺陷深度 材料去除率

## Abstract

With the development of the strong laser field, lithography and optical technology field, the quality of the optical elements have require higher precision, not only require high surface smoothness, but also require no subsurface damage (SSD). Numerous studies on the component damage mechanism did by scholars both at home and abroad, which have shown that the subsurface damage of optical elements in the process will directly influence the materials in the use of strong laser field performance and life, and other important indicators, so effective detection and controlling of the surface damage in the processing stage is particularly important. Experimental results showed that the revised material removal rate (MRR) error fluctuation range greatly reduced. We can strictly control the processing parameters by the material removal formula to achieve maximum efficiency of subsurface defect removal. Experiment result shows that the SSD is vary with the corrosion time, first become bigger, and then become smaller. The result is that small-size scratches could be eliminated by enough etching depth, but larger ones remained there. Otherwise, longer or wider ones could be de-sharpened by deep etch. On the relationship of the surface roughness and SSD depth, we set up a relationship model about processing parameters of polishing methods and large diameter optical element's SSD and the reducing efficiency of SSD, which can efficiently reduce the range of parameters and methods to choose on the processing .Work and main achievements include:

(1) Based on the material removal rate formula proposed by Jianfeng Luo and David A. Dornfeld, I put forward the modified material removal formula by experiment. These experiments show that the material removal rate formula's Error fluctuation can sharply reduce.

(2) Use the step profiler to measure the etching depth of four materials, and use optical microscopy and scanning electron microscopy to investigate the morphology of subsurface defect.

(3) According to step etching preferred method, and using optical microscopy and LED flashlight do experiments by shallow etch and extreme deep etch. And the subsurface defect depth of K9 is determined.

(4) From the research of CMP technology, we found that this technology not only plays a positive role in improving the surface accuracy and reducing the SSD of the work piece, but also shows the defect of importing sedimentary impurity.

**Key Words:** CMP SSD MRR

# 目 录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 课题研究背景	1
1.2 国内外发展现状	2
1.3 课题期间相关工作	3
<b>第二章 亚表面缺陷的基础模型</b>	<b>5</b>
2.1 亚表面缺陷的机理及形貌	5
2.2 亚表面缺陷的检测方法	9
2.3 提高硬脆性元件损伤阈值的方法	10
2.4 小结	12
<b>第三章 CMP 材料去除模型</b>	<b>13</b>
3.1 CMP 技术	13
3.1.1 CMP 技术发展背景	13
3.1.2 CMP 的工作原理	15
3.1.3 影响 CMP 效率及质量的要素	17
3.2 CMP 加工中的固-固接触模型	19
3.2.1 模型的假设	19
3.2.2 材料去除机理	21
3.3 材料去除公式的条件	22
3.4 小结	23
<b>第四章 CMP 材料去除实验验证</b>	<b>24</b>
4.1 MRR 公式模型及验证流程	24
4.2 MRR 实验及误差分析	25
4.2.1 试验样品制备	25
4.2.2 实验数据分析与修正	26
4.3 三种不同材料的 MRR 公式的修正	27

4.4 小结 .....	31
<b>第五章 亚表面缺陷检测与分析 .....</b>	<b>32</b>
5.1 亚表面缺陷实验方法的研究 .....	32
5.1.1 实验设备及样品制备 .....	32
5.1.2 实验及检测 .....	37
5.2 亚表面缺陷检测方法的优化 .....	42
5.3 亚表面缺陷实验结果与分析 .....	43
5.4 小结 .....	45
<b>第六章 分步优化腐蚀方法与数据处理 .....</b>	<b>47</b>
6.1 分步优化腐蚀 .....	47
6.2 实验设备及样品制备 .....	47
6.3 实验结果及数据分析 .....	49
6.4 小结 .....	53
<b>第七章 结论与展望 .....</b>	<b>54</b>
7.1 结论 .....	54
7.2 展望 .....	55
<b>参考文献 .....</b>	<b>56</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>61</b>
<b>硕士期间的科研成果 .....</b>	<b>62</b>

## Table of Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Background	1
1.2 Home and Abroad Correlative Research	2
1.3 Main Research Areas	3
<b>Chapter 2 The Basic Model of Subsurface Damage</b>	<b>5</b>
2.1 Mechanism and Morphology of The Subsurface Damage	5
2.2 Measure Method of The Subsurface Damage	9
2.3 Quantitative Research of Defect Parameters	10
2.4 Conclusion	12
<b>Chapter 3 Modeling of Chemical Mechanical Polishing Material Removal</b>	<b>13</b>
3.1 Theory of Chemical Mechanical Polishing	13
3.1.1 Research Background of CMP	13
3.1.2 Working Principle of CMP	15
3.1.3 Impact Factors of CMP	17
3.2 Solid-solid contact models in Chemical Mechanical Polishing	19
3.2.1 Assumptions of model	19
3.2.2 Mechanism of Material Removal	21
3.3 The requirement of Material removal equation	22
3.4 Conclusion	23
<b>Chapter 4 Experimental verification of Chemical Mechanical Polishing Material Removal</b>	<b>24</b>
4.1 Modeling of Material removal equation and verification of processes	24
4.2 The experiment of Material removal and error analysis	25
4.2.1 Preparation of samples	25

4.2.2 Experimental data analysis and correction .....	26
<b>4.3 Material removal equation to modify three different materials .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Conclusion.....</b>	<b>31</b>
<b>Chapter 5 Measurement and analysis of subsurface damage .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Realistic significance of the research.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Preparation of samples .....	32
5.1.2 Experiment and test.....	37
<b>5.2 Measurement of subsurface damage.....</b>	<b>42</b>
<b>5.3 Result and analysis of subsurface damage.....</b>	<b>43</b>
<b>5.4 Conclusion.....</b>	<b>45</b>
<b>Chapter 6 Step etching preferred method and Data Processing .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1 Step etching preferred method .....</b>	<b>47</b>
<b>6.2 Use scanning electron microscopy and optical microscopy to measure the morphology and etching depth of subsurface defect.....</b>	<b>47</b>
<b>6.3 The relationship of depth of subsurface defect and surface roughness</b>	<b>49</b>
<b>6.4 Conclusion.....</b>	<b>53</b>
<b>Chapter 7 Summarize and Outlook .....</b>	<b>54</b>
<b>7.1 Summarize .....</b>	<b>54</b>
<b>7.2 Outlook .....</b>	<b>55</b>
<b>References .....</b>	<b>56</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>61</b>
<b>Published papers .....</b>	<b>62</b>

厦门大学博士论文摘要库



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库